

TOPFUEL SANTANDER 2021. EL CONGRESO DE LA FLEXIBILIDAD



MANUEL QUECEDO GUTIÉRREZ

Director Técnico de Desmantelamiento y Servicios
en Central
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.



JUAN J SERNA GALÁN

Jefe Comercial BWR
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.



CRISTINA MUÑOZ-REJA RUIZ

Responsable Mercado Asia
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS, S.A., S.M.E.



TOP FUEL
2021

SANTANDER
REAL PALACIO DE LA MAGDALENA
DEL 24 AL 28 DE OCTUBRE DE 2021

INTRODUCCIÓN

La actualización del estado del arte a nivel mundial en la investigación, diseño, fabricación, operación y experiencia del combustible en reactores comerciales de agua ligera tiene lugar todos los años en la conferencia TopFUEL.

Con una tradición de más de veinticinco años, su sede va rotando anualmente entre Extremo Oriente (China, Corea, Japón), Europa y Estados Unidos. Cada año es coorganizada por una de las distintas sociedades nucleares (ENS, ANS, CNS, KNS, JNS) junto con una empresa relevante del sector. De esta manera TopFUEL hereda y aglutina las conferencias que de manera independiente organizaban en el

pasado las sociedades nucleares de estos países: *Water Reactor Fuel Performance Meeting*, *TopFUEL* y *Light Water Reactor Fuel Performance Conference*. Esta rotación facilita que expertos e investigadores de distintos continentes puedan presentar sus trabajos y/o atender, al menos periódicamente, a este evento.

La única vez que la conferencia se ha celebrado en España fue hace ya quince años, en 2006, organizada por ENUSA en la ciudad de Salamanca. Por ello, la SNE con la colaboración de ENUSA, empezó a trabajar con la ENS ya desde la última reunión que se realizó en Europa (Praga 2018) para volver a celebrar esta conferencia en España en 2021.

A lo largo del artículo se describe con mayor detalle el alcance del congreso, sus características principales así como los logros obtenidos.

SANTANDER, SEDE DE TOPFUEL 21

Santander fue la ciudad escogida como sede ya que cuenta con unas magníficas instalaciones para celebrar este tipo de eventos, como es el Palacio de la Magdalena, junto con una buena infraestructura hotelera y de comunicaciones. Además, la relevante actividad industrial, específicamente en el ámbito nuclear, convirtió a Santander en una excelente candidata para acoger este evento.

Es necesario también mencionar el apoyo institucional del Gobierno de Cantabria, del Ayuntamiento de Santander, del Santander Convention Bureau y el impulso de la Sociedad Nuclear Española que han sido claves para que TopFUEL 21 se celebre en esta ciudad.

ORGANIZACIÓN

El congreso ha estado estructurado por dos comités, con funciones claramente establecidas. Por un lado, ha trabajado el Comité Técnico formado por expertos internacionales de reconocido prestigio. Por otro lado, el Comité Organizador, formado tanto por personas de ENS como de ENUSA, ha sido el encargado de liderar la organización coordinando a todas las organizaciones que participan de la celebración del congreso.

Por encima de estos comités la organización ha estado dirigida por el presidente de la conferencia, Roberto González de ENUSA, y Emilio Mínguez como presidente de la ENS.

Por último, no se puede terminar este punto relativo a la organización sin mencionar a los patrocinadores. El congreso ha contado con cuatro expositores y un total de trece patrocinadores representando los principales fabricantes de combustible nuclear implantados en Europa, empresas

de ingeniería españolas o instituciones locales. A través de su patrocinio y participación han contribuido en distintas facetas del congreso para conseguir que se cumpliesen los objetivos del mismo.

PROGRAMA Y PARTICIPACIÓN

El congreso se ha construido alrededor del programa técnico siendo conscientes de que es el núcleo de la reunión. De este modo se ha celebrado una sesión plenaria y sesiones técnicas a lo largo de los tres días de duración del congreso incluyendo una sesión de presentación de pósteres.

Las ponencias propuestas por los autores se agruparon en seis áreas temáticas: operación y experiencia; avances en diseño, materiales y fabricación; combustibles avanzados (ATF); modelización, análisis y métodos; comportamiento en transitorio; y almacenamiento y transporte de combustible gastado.

Cada área temática está liderada por un experto (*track leader*) reconocido internacionalmente y propuesto por la ENS, responsables de mantener la calidad de las ponencias técnicas. Entre las funciones de estos líderes técnicos se encuentran la creación de los equipos de trabajo para coliderar el área temática, la selección de las propuestas de ponencias y su distribución entre áreas temáticas. También son los responsables de la revisión y adecuación de los trabajos presentados. En el caso de Santander, estos equipos tuvieron la composición que se muestra en la Tabla 1.

Dado el elevado nivel y la especificidad de muchas ponencias el proceso de revisión requiere adicionalmente de un elevado número de expertos en áreas muy concretas que son seleccionados por el Comité Técnico y que contribuyen y enriquecen el contenido del congreso. En el caso de Santander, participaron un total de 132 revisores, trece de ellos españoles. De este Comité Técnico y equipo de revisores, por su conocimiento de las ponencias se seleccionaron los presidentes de las distintas sesiones.

Track leader			Co-Leader		
Nombre	Compañía	País	Nombre	Compañía	País
Operation and Experience					
Dr. M. Quecedo	ENUSA	España	N.A.Hollaski	Bel V	Bélgica
			Dr. E.V. Mader	EPRI	EE.UU.
Advances in Designs, Materials and Manufacturing					
D. Schrire	Vattenfall Nuclear Fuel	Suecia	P. Cantowine	GNF	EE.UU.
			Dr. I Arimescu	Framatome	EE.UU.
Evolutionary and Innovative Advanced Technology Fuels (eATF)					
Dr. N. Vollmer	Framatome	Alemania	I. Ushmarov	TVEL	Rusia
			Z. Karoutas	Westinghouse	EE.UU.
			C. Muñoz-Reja	ENUSA	España
Modelling, Analysis and Methods					
Dr. J. Zhang	Tractebel	Bélgica	Dr. M Cherubini	N.I.N.E.	Italia
			C. Muñoz-Reja	ENUSA	España
			Dr. M Ševeček	CTU	Rep.Checa
Transient Fuel Behaviour and safety related issues					
Dr. N. Waeckel	EDF	Francia	O. Marchand	IRSN	Francia
			Dr. Van Uffelen	JRC/EC	Alemania
Used fuel storage, transportation and re-use					
Dr J. Bertsch	Paul Scherrer Institut	Suiza	M Verwerft	SCK-CEN	Bélgica
			W. Faber	PreussenElektra	Alemania

Tabla 1.



Entrada al congreso.

Otro de los objetivos que se ha perseguido en esta reunión es el de poder servir de nexo de unión entre las empresas participantes en el congreso y las empresas y la Universidad de Cantabria. Para ello se celebró una jornada de trabajo en la zona de las caballerizas del Palacio con la asistencia de una abundante representación de las empresas locales.

En representación de uno de los temas que capta mayor atención en España en la actualidad, el programa también contó con la presentación del borrador del 7º Plan General de Residuos Radiactivos a cargo de José Luis Navarro, presidente de ENRESA, y que brindó la oportunidad de conocer los puntos clave, las consideraciones y el estado de este 7º Plan que está configurando el futuro de la industria Nuclear en España.

Finalmente, TopFUEL suele incorporar al programa una visita técnica por lo que en esta ocasión se visitaron las instalaciones de ENSA en Maliaño permitiendo conocer de primera mano sus capacidades y los proyectos más innovadores en que ENSA está trabajando.

En cuanto a las principales magnitudes del congreso, indicar que han participado más de 180 congresistas de modo presencial y cerca de 130 congresistas de modo remoto pertenecientes a 22 países y se han presentado 160 ponencias de las que 23 fueron del sector español. Estas cifras explican por sí solas la importancia y el impacto que ha tenido TopFUEL21 en el sector nuclear a escala española y mundial.

SESIÓN PLENARIA

La sesión plenaria habitualmente cuenta con participantes clave de la industria que permiten analizar los temas de actualidad del sector. Debido al continuo incremento del precio de la electricidad, el cierre y las previsiones de cierre de centrales en varios países europeos, la sesión plenaria se focalizó en el futuro de la industria nuclear en Europa y los retos que se presentan en este horizonte.

José E. Gutiérrez, consultor y anteriormente presidente y CEO de Westinghouse, facilitó el debate entre los cuatro panelistas que representaban a los cuatro suministradores principales de combustible en Europa:

- Carina Önnby, Westinghouse, VicePresident EMEA Fuel Delivery.
- Tammy Orr, GNF-A, Senior Vice President, Nuclear Fuel Products.

- Ala Alzaben, Framatome, Senior Vice President.
- Roberto González, ENUSA, Director, Business Development.

Los panelistas presentaron su visión sobre distintos aspectos clave como son la situación del mercado en Europa y a nivel mundial, extensión de vida, I+D+i, capacidades de fabricación, gestión del conocimiento y renovación generacional y nuevos reactores tipo SMR para responder a necesidades futuras de la energía nuclear para proporcionar una fuente sostenible de energía en el entorno de cambio climático y subida de precios de la electricidad.

El panel fue completado por la perspectiva de la OIEA presentada por Mr. Xerry, Director, Fuel Cycle and Waste Technology Division.

SESIONES TÉCNICAS

Para garantizar el desarrollo de las sesiones técnicas del TopFUEL ante cualquier condicionante impuesto por la pandemia, se combinaron tres modalidades de presentación oral: la presencial, la remota en directo y la remota en diferido de *backup*, que transcurrieron de forma simultánea a lo largo de cada sesión. Además, la presentación de trabajos en formato póster, aparte de su exhibición y la discusión de los mismos in situ durante el transcurso del congreso, tuvo una sesión *online* unos días antes de su celebración en donde los autores, tanto inscritos en la modalidad presencial como *online*, pudieron presentar sus trabajos y contestar a las preguntas de la audiencia. Todas las intervenciones se grabaron en video y pudieron ser visionadas por las personas inscritas durante un mes adicional, extendiendo la conferencia de manera virtual.

Como fiel reflejo de las principales inquietudes actuales en la operación de los reactores comerciales, necesidad de adaptarse al *mix* de producción de electricidad y recuperación de rentabilidad de la energía nuclear, las sesiones dedicadas a **Operation and Experience** han incluido el análisis de diferentes aspectos de la operación flexible, de la optimización de ciclos, de la protección de los componentes y estructuras de los reactores para paliar su envejecimiento y del uso extensivo del combustible.

Así, en el primero de los capítulos, este *track* ha incluido estudios tales como los análisis de seguridad específicos en este tipo de operación adaptable a demandas de la red, riesgos de fallo por PCI asociados a maniobras de potencia u operativas concretas como la presentada en el caso de la central nuclear española de Cofrentes.

En relación con la recuperación de la rentabilidad, casi un tercio de los trabajos presentados han recogido, de una forma u otra, diferentes fórmulas para abordar este asunto. Así, se han analizado el impacto de nuevos diseños en el coste del ciclo, se han presentado resultados experimentales que avalan la capacidad de extensión en el uso del combustible (mayores quemados, potencias de operación y tiempos de residencia), soluciones para la mitigación de la fragilización de la vasija o el efecto de la química de "protección" del primario en relación al combustible.

En este capítulo, no podía faltar el análisis de los cada vez menos frecuentes fallos o anomalías de comportamiento del combustible así como las acciones de mitigación o reparación de los mismos. Se han presentado trabajos sobre

shadow corrosion, soluciones a los componentes afectados por *stress corrosion cracking*, metodologías de aplicación de las guías de fiabilidad del combustible, arqueo del combustible o profundizaciones en el estudio del crud.

Un total de 22 ponencias de las cuales en 5 de ellas han participado como autor o como coautor, algún organismo o empresa del sector nuclear español: ENUSA, Iberdrola, A.N Ascó-Vandellós, Centrales Nucleares Almaraz-Trillo.

Fueron 14 los trabajos presentados en el apartado de **Advances in Designs, Materials and Manufacturing** que comprendió nuevos materiales-vaina, pastilla-, nuevos diseños de combustible y/o sus componentes (el StrongHold® Filter de Westinghouse para BWR, el M-REX de MNF, el PRIME™ de Westinghouse y el ATRIUM 11 de Framatome), revolucionarias técnicas de fabricación e inspección de combustible entre las que no podían faltar la fabricación aditiva o la aplicación de la inteligencia artificial y el reciclado de combustible irradiado.

Dos de las ponencias corrieron a cargo de organizaciones españolas. El grupo AUDIAS de la Universidad Autónoma de Madrid y ENUSA.

La sección de combustibles avanzados, **Evolutionary and Innovative Advanced Technology Fuels (eATF)**, fue la que, como ha sido habitual en las anteriores ediciones, acaparó el mayor número de trabajos presentados con un total de 33 trabajos. Como se anticipaba desde el inicio del desarrollo de estos combustibles con una tolerancia añadida a accidentes con respecto a los combustibles convencionales del sistema uranio-circonio, el grupo de soluciones evolucionarias han mostrado una madurez claramente mayor que la de los llamados combustibles revolucionarios. Así en el TopFUEL 2021, mientras que los artículos dedicados a los materiales evolucionarios, formado por aleaciones de circonio recubiertas de cromo y los aceros FeCrAl en el caso de la vaina y las pastillas de óxido de uranio con aditivos, han podido mostrar datos de experiencia operativa en reactores comerciales, las soluciones revolucionarias, tales como las vainas cerámicas, las aleaciones de alta entropía o las pastillas de uranio no oxidico, se encuentran aún en estadios que, en el mejor caso, alcanzan la irradiación en reactores experimentales únicamente.

Así, para las soluciones ATF evolutivas, se presentaron los resultados de los primeros ciclos de irradiación de los programas de LTA (*Lead Test Assemblies*) o LTR (*Lead Test Rods*) de ATF de los reactores comerciales de Gösgen, Vogtle, Byron y hubo actualizaciones sobre el estado o las aproximaciones seguidas en materia de licenciamiento para su operación, de los programas comerciales de Doel 4, Arkansas Nuclear One, Calvert Cliffs, Monticello, Hatch, Clinton o Limerick. Aunque en la actualidad existen otros programas de ATF corriendo en reactores comerciales, no hubo actualización sobre ellos. No faltaron artículos sobre diferentes métodos de producción de cromados o procesamiento y metalurgia de FeCrAl, sobre ensayos con material fresco y sobre los diferentes experimentos de los reactores experimentales de OSIRIS de la CEA, del ATR de Idaho National Laboratory, el HFIR de Oak Ridge National Laboratory, etc... en soporte al comportamiento en accidente de los nuevos materiales.

Con respecto a los combustibles revolucionarios, la vaina cerámica de Carburo de Silicio es la que acapara más es-

tudios. Los estudios sobre este material muestran los progresos más recientes sobre la configuración de vaina (diferentes configuraciones de fibras de CSI, uso conjunto con matrices de otros cerámicos, recubrimiento con metales...) que finalmente sean capaces de superar los dos grandes problemas de uno de los materiales más prometedores como ATF, la pérdida de masa en condiciones de operación y la garantía de estanqueidad. Varios artículos de esta edición del TopFUEL han mostrado resultados prometedores en este sentido. En cuanto a pastilla combustible, se ha hablado bastante de los Nitruros de Uranio con o sin recubrimientos o en forma de micro esferas embebidas en otros materiales.

Finalmente mencionar algún trabajo en el área de modelización atomística aunque algunos de ellos han caído en la categoría de Modelización, e incluso se comienza ya a abordar la problemática del reprocesado.

Una ponencia coautorizada por la empresa española, ENUSA, ha sido presentada dentro del área de ATF.

La sección de **Modelling, Analysis and Methods**, otra de la más numerosas, ha contenido 28 trabajos de los cuales 5 de ellos han sido liderados por organismos españoles: CIEMAT, ENUSA, Grupo AUDIAS de la UAM, IDOM y Universidad Politécnica de Valencia. Los trabajos presentados han recorrido toda clase de fenomenología, mecanismos de hidruración, química del primario, formación de crud, generación de isótopos, predicción de la deformación del núcleo, aplicación de CFD al análisis del comportamiento termohidráulico del combustible, PCI, fragmentación, etc. Aparte de los fenómenos asociados al combustible en operación, también se han abordado fenomenologías específicas del combustible usado.

El apartado relativo a **Transient Fuel Behaviour and Safety Related Issues** recogió 25 trabajos y en esta edición ha sido la única temática que no ha contado con representación española. Como corresponde a este capítulo, el accidente de pérdida de refrigerante (LOCA) y el de inserción de reactividad (RIA), en relación con los fenómenos asociados al incremento de quemado o a los nuevos materiales ATF, han sido los ejes centrales en esta sección aunque también ha habido trabajos relacionados con el análisis de la ignición de la vaina.

Así, en el LOCA, se sigue profundizando en la identificación de los parámetros determinantes de la fragmentación, relocalización y dispersión del combustible, en la modelización de este tipo de accidente de cara al establecimiento de márgenes frente a los nuevos requisitos reguladores, etc... En RIA, la recuperación del endurecimiento por irradiación por *annealing* durante el accidente o la profundización en el fenómeno de PCMI en estas condiciones han sido temas recurrentes en el congreso. Finalmente, las vainas cromadas y de carburo de silicio así como el siliciuro de uranio o las pastillas dopadas con cromo han sido objeto de análisis específicos para los nuevos combustibles ATF bajo estos dos tipos de accidentes.

Finalmente hablar de las sesiones dedicadas a uno de los temas que más preocupa a nivel mundial tanto a la industria como a la sociedad, **Used Fuel Storage, Transportation and Re-use**. Reflejo de que la segunda parte del ciclo de combustible es un asunto candente en nuestro país, España ha sido el país que más trabajos ha presentado en esta sección con 5 de las 16 ponencias totales, seguido por Ale-



Ceremonia de Clausura.

mania con tan solo 3 trabajos sobre el tema. Por la parte española, los autores pertenecen a la UPM (Departamento de Materiales e INGECID de la ETSI Caminos), ENRESA, ENSA, IBERDROLA y ENUSA.

El alto quemado y el efecto del hidrógeno siguen siendo a día de hoy, el centro de la mayor parte de los estudios en esta área. Gran parte de los trabajos se focalizan en la caracterización experimental y el efecto de los hidruros en el comportamiento de la barra combustible en condiciones tanto de accidentes de transporte como en almacenamiento. Así se han presentados trabajos sobre el estado de los hidruros en el liner en vainas con un conformado en dúplex, en la potencial reorientación de hidruros bajo determinadas condiciones, en la transición dúctil-frágil, en la distribución de hidruros en puntos concretos tales como la *inter-face* pastilla-pastilla. También se han presentado estudios de caracterización y clasificación del combustible de cara a la gestión del combustible gastado, tanto para la carga en contenedores como para el almacenamiento en seco o análisis sobre fenomenologías menos frecuentes como el riesgo y el efecto de la pérdida de unión química o física entre la vaina y la pastilla en el almacenamiento a largo plazo y se han presentado métodos actualizados para la disolución del combustible en el área de reprocesado.

EXHIBICIÓN DIGITAL

La exhibición digital se concibió como un foro para que distintas empresas españolas presentaran las aplicaciones desarrolladas usando las palancas de la transformación digital. Pensada inicialmente para proporcionar una experiencia inmersiva a los asistentes, más allá de una presentación o un póster, el cumplimiento de la normativa asociada al COVID-19 impuso limitaciones en el número de empresas y en el formato. Por ello, la sesión digital consistió en una presentación/video por parte de los ponentes a la que, finalmente, se pudo añadir una interacción directa de los asistentes con los ponentes y los equipos que llevaron.

En primer lugar, IDOM presentó las ventajas de los entornos virtuales. En un entorno virtual se captura la realidad física y la información asociada a productos y procesos dando lugar a un gemelo digital. Estos gemelos digitales se pueden utilizar para recorrer el camino desde el diseño a la puesta en marcha de una producto/proceso, crearse a partir de una realidad física existente para optimizarla, mejorar su productividad, etc. o como una mezcla de ambos: incorporar nuevos diseños a una realidad existente. El trabajo con ellos puede realizarse con visualizadores sobre un ordenador o con aplicaciones inmersivas que requieren un paso más como las gafas de realidad virtual. La etapa de captura de un activo existente quedó ilustrado mediante un escaneado láser del Palacio y su auditorio realizado por la empresa DOGRAM y el interés de los programas de visualización de entornos virtuales en cuanto a reducción de costes, reducción de dosis al personal y eficiencia y eficacia en general de los procesos quedaron ilustrados mediante dos casos reales de aplicación de visualizadores de entornos virtuales.

GE-HITACHI presentó las capacidades de la realidad virtual inmersiva para revolucionar el aprendizaje de los operadores, la aceleración del diseño y la optimización de los procesos. En este caso, mediante salas de realidad virtual, el personal puede entrenarse trabajando como un equipo incluso en escenarios y situaciones que no pueden ser simulados en entornos físicos. Estas capacidades fueron ilustradas en base a píldoras formativas utilizando la herramienta desarrollada con la empresa española VIRTUALWARE.

Finalmente, TECNATOM presentó la aplicación de su herramienta de gestión del conocimiento SOUL a la formación en actividades en centrales nucleares sobre el combustible. A lo largo de cuatro años, los conocimientos críticos del personal de ENUSA y de ENSA han sido identificados y capturados en videos y simulaciones con modelos 3D dando lugar a cursos específicos y comunidades de aprendizaje. Toda esta formación se puede realizar en remoto desde cualquier ubicación con un ordenador con acceso a Internet.

BORRADOR DEL 7º PLAN GENERAL DE RESIDUOS RADIATIVOS

El Plan General de Residuos Radiactivos es el documento que recoge la estrategia, actividades y soluciones técnicas que deben llevarse a cabo en materia de gestión de residuos radiactivos, desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas junto con el correspondiente análisis económico y financiero de estas actividades.

Después de una breve presentación de ENRESA y sus responsabilidades en esta materia, su presidente, José Luis Navarro, resumió el proceso de tramitación y las principales características del borrador del 7º Plan, presentado en marzo de 2020 al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

En su ponencia se expuso el escenario considerado tomando como base el calendario de paradas de centrales nucleares acordado entre ENRESA y las eléctricas españolas, la previsión de los distintos tipos de residuos y las nuevas alternativas de gestión planteadas sobre las consideradas en el 6º Plan así como otros elementos relevantes de la gestión de los distintos tipos de residuos y del desmantelamiento de las centrales nucleares.

Entre las alternativas de gestión cabe destacar la posible ampliación de El Cabril en 2028 o la alternativa de puesta en marcha de una nueva instalación para acomodar el volumen previsto de residuos de Baja y Media Actividad y, frente al Almacén Temporal Centralizado, la alternativa de almacenamiento del combustible gastado en las centrales nucleares hasta su transporte al Almacenamiento Geológico Profundo cuya puesta en marcha tendría lugar en 2070.

El presidente de ENRESA también presentó el esquema temporal de referencia para el desmantelamiento de las centrales nucleares actualmente en operación y el estado

de los trabajos en las tres centrales nucleares actualmente en desmantelamiento. La presentación finalizó con un resumen de las principales actividades de I+D+i.

REUNIÓN CON LA INDUSTRIA DE CANTABRIA

Aprovechando la celebración de TopFUEL 21 y con objeto de contribuir al conocimiento y acercamiento entre las empresas del sector nuclear y las empresas de Cantabria, explorando oportunidades de colaboración, se celebró un encuentro promovido por SODERCAN.

Esta sesión de trabajo se celebró en Las Caballerizas del Palacio de la Magdalena con la asistencia de una abundante representación de las empresas locales bajo el paraguas del Cluster de la Industria Nuclear de Cantabria. Contó con la exposición de proyectos emblemáticos y sus áreas de interés por representantes de la industria nuclear presentes en el congreso (IDOM, ENUSA, GE-HITACHI, Westinghouse España y ORANO), la presentación de las empresas locales asistentes a la sesión y se intercambiaron experiencias y capacidades entre los participantes.

CONCLUSIÓN

El reto de volver a celebrar en España la más importante conferencia sobre combustible nuclear a nivel mundial se ha podido superar con éxito, tanto en el plano técnico como social, gracias a la flexibilidad de todos los agentes involucrados: organizadores (ENS, ENUSA, Palacio de la Magdalena, ENSA), participantes, administración local y regional para adaptarse a las cambiantes circunstancias y al uso de las tecnologías digitales. De esta manera, tras el parón en el 2020 en China motivado por la pandemia, TopFUEL volvió en 2021 a celebrarse en Santander. ■



Reunión con la industria de Cantabria.